DOI: 10.15826/vestnik.2019.18.3.018 ISSN 2412-5725

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

УДК 338.28

Р.С. Рогулин[1]
Дальневосточный федеральный университет,
г. Владивосток, Россия
В.И. Максименко[2]
Дальневосточный федеральный университет,
г. Владивосток, Россия
Д.В. Злобина[3]
Дальневосточный федеральный университет,
г. Владивосток, Россия
В.О. Жандармов[4]
Дальневосточный федеральный университет,
г. Владивосток,
Е.С. Пугачева[5]
Дальневосточный федеральный университет,
г. Владивосток,
В.В. Матвеев[6]
Дальневосточный федеральный университет,
г. Владивосток, Россия

ЗАДАЧА КОМБИНАТОРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ: ПОИСК ОПТИМАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО И ТРАНСПОРТНОГО ПЛАНА ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА НА НОВЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Аннотация. Целью данной статьи является решение одной из нетривиальных задач производственной деятельности, возникшее на предприятии лесной направленности. Предприятие ставит целью расширение отдельных пунктов производства с последующим определением: объемов производства и транспортировки с каждой из точек (мест производства, складов и т. д.). Гипотеза заключается в том, что решение такой производственной проблемы лежит в комплексном решении пяти задач линейного программирования: производственная задача (классическая постановка), задача размещения центров, задача максимального потока, задачи минимизации времени, транспортная задача. В работе представлены основные алгоритмы поиска оптимального решения, сформулирована комплексная задача, построена модель и реализован алгоритм поиска оптимального решения. Было показано, что такую задачу возможно сформулировать в рамках комплексной задачи линейного программирования. Тест модели произведен на 38 вершинах с 16 пунктами входа, 3 пунктами выхода. Показано, что такую задачу возможно решать и визуализировать средствами пакета Matlab. Рассмотрены модификации модели и возможные алгоритмы решения в зависимости от объема выборки данных. Разработанная модель может быть применена на предприятии любой производственной направленности, где стоит главной задачей поиск оптимального комбинаторного варианта вектора товаров при условии, во-первых, минимизации производственных издержек и затрат на транспортировку готовой продукции, во-вторых, получения максимальной прибыли, в-третьих, минимальных издержек при открытии новых пунктов производства. Такая задача в точности подходит к экономической ситуации, когда предприятию еще предстоит расшириться (открыть новые пункты производства), и оно осуществляет попытки по определению мест производства из рассматриваемого списка, объема производства из имеющегося в наличии сырья, способа отправки (как можно больше товара). Такая проблема носит характер нетривиально комбинаторный.

Ключевые слова: математическое моделирование; линейное программирование; производство; максимальный поток; размещение центров; минимизация времени; транспортная задача.

Актуальность исследования

На протяжении многих сотен лет общество находится в поиске алгоритмов получения лучших (оптимальных) решений. Какого товара сколько произвести? Какой объем отправить и кому из потребителей? Каков способ доставки? Где лучше открыть производство? Из каких соображений исходить? Все эти вопросы уже давно волнуют научные сообщества. Экономисты не стали исключением [1, 2].

XX век прошел под лозунгом расширения производства. XXI век ушел от расширения производства и перешел в качественно более сложную эпоху – время оптимизации. Проблемы экономической оптимизации становятся все более актуальными. Затронутый нами период отмечен в истории широким применением математических и инструментальных методов в экономике, которые призваны для того, чтобы дать ответ на самые разные вопросы, интересующие бизнес-сообщества [2].

При территориальном расширении производства предприятие обычно находится в поиске подходящей базы для открытия. После определения такой базы логичным будет определение производственного плана исходя из вместимости рынка. Затем производится расчет доставки (временной и денежной) [8, 12]. В этом абзаце мы показали, как работает предприятие при принятии управленческого решения [1, 12]. Безусловно, предприятие сможет отыскать решение несколько близкое к оптимуму, однако в нашей работе показано, что такой последовательный подход к решению множества комбинаторно-производственных задач недопустим, т. к. не достигается оптимум при решении.

Степень проработанности

Существуют различные методики решения производственных задач. Краткий обзор представлен в табл. 1.

Рассмотрим имитационные и последовательные методы решения. В первом случае очень трудно выбрать грамотно модель и условия ее работы. Кроме того, долгая сходимость алгоритма к оптимальному решению является основной причиной для отказа от этих групп решений при работе с

[1] *Рогулин Родион Сергеевич* – ассистент кафедры бизнес-информатики и экономико-математических методов Школы экономики и менеджмента Дальневосточного федерального университета, г. Владивосток, Россия (690090, г. Владивосток, ул. Суханова, 8); e-mail: rafassiaofusa@mail.ru.

[2] *Максименко Валерий Иванович* – кандидат технических наук, доцент Инженерной школы Дальневосточного федерального университета, г. Владивосток, Россия (690090, г. Владивосток, ул. Суханова, 8); e-mail: maximenko.vi@dvfu.ru.

[3] *Злобина Дарья Вячеславовна* – техник департамента пищевых наук и технологий Школы биомедицины Дальневосточного федерального университета, г. Владивосток, Россия (690090, г. Владивосток, ул. Суханова, 8); e-mail: zlobina.dv@dvfu.ru.

[4] *Жандармов Владимир Олегович* – магистрант Школы цифровой экономики Дальневосточного федерального университета, г. Владивосток, Россия (690090, г. Владивосток, ул. Суханова, 8); e-mail: zhandarmov.vo@students.dvfu.ru.

[5] *Пугачева Ева Сергеевна* – техник Школы биомедицины Дальневосточного федерального университета, г. Владивосток, Россия (690090, г. Владивосток, ул. Суханова, 8); e-mail: pugacheva.es@dvfu.ru.

[6] *Матвеев Владислав Викторович* – инженер-лаборант Школы биомедицины Дальневосточного федерального университета, г. Владивосток, Россия (690090, г. Владивосток, ул. Суханова, 8); e-mail: matveev.vv@dvfu.ru.

вышеописанной задачей. Во втором случае алгоритм представляется возможным для работы в экстренных случаях, когда необходимо, чтобы решение было найдено быстро и в некоторой ε-окрестности оптимума.

В нашем исследовании мы остановимся на выборе двух групп методов (в зависимости от объемов выборки данных): точные (при небольшой выборке) и приближенные (при значительном объеме выборки данных) алгоритмы поиска оптимального решения математического программирования ввиду их быстрой сходимости.

Несмотря на значительный объем научной литературы, посвященной моделированию производственных задач, решение проблем комплексных задач исследовано недостаточно, ввиду отсутствия известных моделей [1, 3, 10]. Любая оптимизационная задача решается исключительно путем создания модели с «нуля» [1, 4, 18], однако отметим, что также существуют общеизвестные рекомендации [5, 6, 12, 17, 19] при поиске оптимума.

Таким образом, целью данной статьи является формулировка комплексной задачи

Таблица 1

Краткий обзор методов решения производственных задач

Группы методов	Описание	Особенности
Точные (математическое программирование) [1, 8]	Первостепенной задачей ставится написание математической модели. Затем, пользуясь известными точными методами, определяется оптимум в задаче	Долгая сходимость при большом количество ограничений
Иммитационные [1, 8]	Главная роль в виде алгоритма поиска оптимального решения отводится иммитации. Здесь происходит поиск решения как в реальной жизни – компьютер полностью моделирует весь процесс работы рассматриваемого процесса	Сложность в определении факторов, влияющих на окончательное решение задачи. Долгая сходимость при любой выборке данных и ограничений
Последовательные [1, 8]	Решение задач по степени их появления перед руководством предприятия. Здесь могут использоваться все методы по отдельности для каждой отдельной задачи, описанной выше	Нет гарантии попадания в оптимум. Быстрая сходимость при небольшой выборке данных при решении каждой задачи отдельно
Приближенные (математическое программирование) [1, 8]	Решение задачи начинается с постановки математической модели. Затем, пользуясь эвристическими или численными методами, определяется оптимум в задаче	Долгая сходимость при небольшой выборке данных и ограничений

на языке математического моделирования и нахождение ее решения, чтобы показать, что самый распространенный способ решения – последовательный, не является оптимальным. Комплексная задача будет строиться на основе объединения пяти ранее известных задач линейного программирования: производственная задача (классическая постановка), транспортная задача, задача учета времени, задача максимального потока, задача размещения центров. Данная модель дает представление о том, сколько производить какого типа продукции, о том сколько ввезти в каждый пункт потребления (потребителю) так, чтобы минимизировать время, расходуемые денежные средства и максимизировать объем вывоза с учетом пропускной способности графа (дорог) [3].

Методика исследования

Определим параметры, которые предстоит учесть для определения решения рассматриваемой задачи.

Пусть существует некоторая норма трудозатрат на производство каждого вида товара из исходных видов сырья. Обозначим трудозатраты, как

$$A=\{A_{ij}\}, i=1:n_1,\ j=1:m_1, \quad (1)$$

где A_{ij} – это элемент, соответствующий тому, сколько потребуется ресурса i для производства j товара. Пусть также существует граф дорог (матрица смежности) с ее пропускной способностью и обозначим ее как

$$d=\{d_{ij}\}, i=1:n,\ j=1:n. \quad (2)$$

Также экзогенно задано время для транспортировки товара из пункта i в j, обозначим матрицу временных затрат как

$$T=\{t_{ij}\}, i=1:n,\ j=1:n. \quad (3)$$

Определим вектор цен реализации товара j, как

$$P=\{p_j\}, j=1:m_1. \quad (4)$$

Пусть существует некоторое количество товара, определенное спросом потребителя (магазины, ИП и т. д.). Обозначим его за

$$a=\{a_i\}, i=1:m. \quad (5)$$

Кроме того, определим затраты на перевозку товара из пункта i в j. Обозначим как

$$C=\{c_{ij}\}, i=1:n,\ j=1:n. \quad (6)$$

Пусть известны затраты на открытие склада. Обозначим их как

$$f=(f_i), i=1:m_2,\ m_2<m. \quad (7)$$

Определим вместимость складов как

$$=(l_i), i=1:m_2,\ m_2<m. \quad (8)$$

Зададим параметр Q как параметр, отвечающий за максимальное количество открытых складов. Пусть x_{ij} – есть количество товара, перевозимое из пункта i в пункт j, k_j – произведенное количество j товара.

В литературе известны отдельные модели для следующих задач: транспортная задача [3, 4, 8], производственная задача [5, 6, 8], задача минимизации времени [7, 8], максимального потока [8], задача размещения центров [8].

Сформулируем целевую функцию задачи. В качестве целевой функции положим следующие предпосылки. Во-первых, необходимо получить максимум прибыли (разность выручки и издержек), во-вторых, необходимо открыть там производственные центры, где будет достигаться минимум, с одной стороны, затрат на открытие, с другой – издержек на транспортировку от нового пункта производства до каждого из известных потребителей. Запишем все вышеизложенное в виде линейной оптимизационной функции:

$$-\sum\sum p_i k_i+\sum f_i z_i+\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}x_{ij}c_{ij}+$$
$$+\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m}t_{ij}y_{ij}\to \min, \quad (9)$$

где $y_{ij}\in(0;1)$, в зависимости от того, используем ли мы путь из пункта i в j, $z_i\in(0;1)$, в зависимости от того используем ли мы пункт i под производство, $k_i \in Z^+$, т. к. товар является целостной единицей.

Рассмотрим ограничения к математической модели исследуемой проблемы. Во-первых, объем производства ограничен запасом сырья на складе,

$$\sum_{j=1}^{m_1} A_{ij} k_j \le b_i, \; i = 1 : n_1, \tag{10}$$

во-вторых, объем производства должен быть равен объему отправленного с производства (склада),

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = k_i, \; i = 1 : m_1, \tag{11}$$

в-третьих, все заявки должны быть удовлетворены (либо должны быть удовлетворены не полностью в случае, если не хватает сырья),

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = a_j, \; j = 1 : m, \tag{12}$$

либо (если не хватает сырья):

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} \le a_j, \; j = 1 : m, \tag{13}$$

в-четвертых, каждый производственный пункт обладает своей вместимостью (если он открыт),

$$\sum_{j} x_{ij} \le l_i z_i, \tag{14}$$

в-пятых, сумма открытых точек производства не может превышать Q штук,

$$\sum z_i \le 0, \tag{15}$$

в-шестых, объем перевозок не может превышать пропускную способность графа дорог,

$$x_{ij} \le y_{ij} d_{ij}, \; i = 1 : n, \; j = 1 : n, \tag{16}$$

в-седьмых, объем суммарного груза, получаемого одной из вершин от всех остальных вершин, равен сумме выходящего объема из рассматриваемой вершины во все остальные,

$$\sum_{i} x_{ij} - \sum_{j} x_{ij} = 0; \; i, j \in I, J, \tag{17}$$

в-восьмых, введем импликацию. Если из пункта i в j объем отправки ноль (16), тогда и количество затраченного времени (9) на перевозку по этой дуге также 0. Отметим большую важность ограничения (18). При решении этой задачи без ограничения (18) алгоритм поиска оптимального решения зацикливался и не определял оптимум.

$$x_{ij} \ge y_{ij}, \; i = 1 : n, \; j = 1 : n. \tag{18}$$

Обозначим модель (9–18) как задачу F_0. Замечание: F_0 является задачей линейного целочисленного программирования.

Обзор алгоритмов решения задач линейного программирования

Существует несколько методов решения таких задач. Среди них можно выделить метод Гоморри, метод ветвей и границ, генетический алгоритм. Сравнение методов представлен в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение методов решения задач линейного программирования

Название алгоритма/ признаки сравнения	**Скорость сходимости**	**Справляется ли с задачами большой размерности**
Метод Гоморри [9–11]	Высокая	Нет
Метод ветвей и границ [12–14]	Низкая	Нет
Генетический алгоритм [15–18]	Низкая	Да

Метод Гоморри представляет собой алгоритм отсечений путем генерации прямых (плоскостей, гиперплоскостей) и введением их в систему ограничений [19]. Метод ветвей и границ представляет собой дерево решений, конечным результатом которой является оптимальное решение [20]. Вышеперечисленные методы являются достаточно быстрыми алгоритмами для задач небольшой выборки. Однако, когда речь идет о проблеме более известной в мире, как «Big Data», два вышеописанных метода не позволяют решить задачу при большой выборке данных. Однако уже в XXI столетии был разработан один из ярчайших эвристических алгоритмов – генетический алгоритм. Общая схема алгоритма приведена в [21]. Данный алгоритм особенно хорош, когда речь идет о задачах линейного программирования (ЛП) для большой выборки. Согласно теории [1, 22], допустимое множество решений есть множество компакт [7, 23] – ограниченное и замкнутое. Как известно, одним из главных минусов этого эвристического алгоритма является тот факт, что существует вероятность нахождения алгоритмом локального минимума и далее застревание в нем при дальнейших итерациях. Так как множество допустимых решений является компактом и полиэдральным, то за конечное время генетический алгоритм найдет решение линейной задачи, даже если задача будет достаточно большой размерности. Главная проблема – грамотно составить целевую функцию.

Тестирование модели на данных предприятия

Пусть даны матрицы норм затрат на производство единицы продукции A пропускной способности графа d, затраты на перевозку C, затрат времени на перевозку T, цен реализации товара P, затрат на открытие пунктов производства f, вместимости складов L, потребностей в конечных пунктах сбыта a. На рис. 1 можно увидеть произвольную визуализацию d.

Решим задачу F_0 используя пакет Matlab. Программный код можете найти на сайте[7]. Ответ получим в виде одномерного массива. На рис. 2*а* представлена визуализация транспортного блока вектора решения задачи. На рис. 2*б* можно увидеть решение той же задачи, при тех же данных используя известные задачи линейного программирования при последовательном подходе.

Анализ результатов

Данная модель действует исходя из следующих математико-экономических пред-

[7] https://pastebin.com/5v45EaaQ

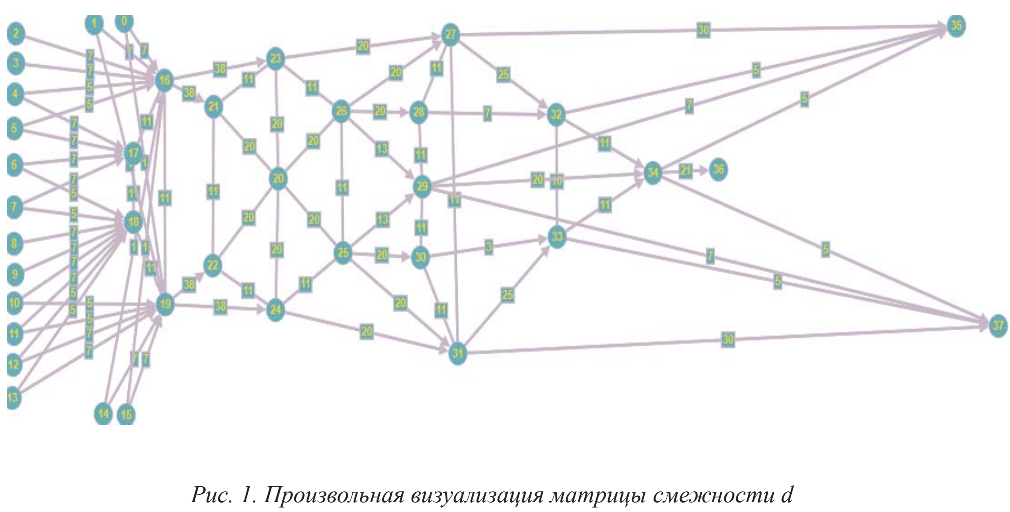
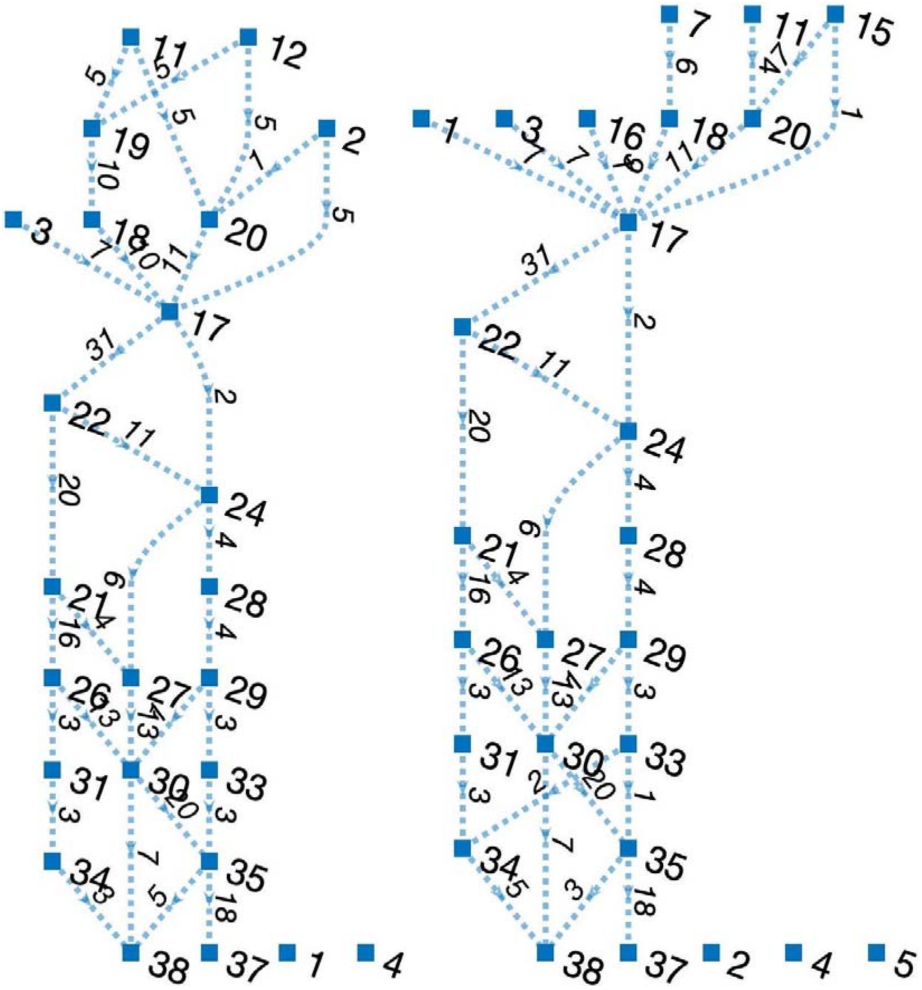


Рис. 1. Произвольная визуализация матрицы смежности d (пропускных возможностей)

посылок: задан вектор конечных пунктов (потребителей), которые согласны купить у производителя по ценам *P*, положенным выше, продукцию, производимую на предприятии в заданном матрицей *a* суммарном объеме, т. е. предприниматель волен сам определять какому потребителю какого типа товара предстоит отправить. Это значит, что производителю не имеет значения какому потребителю и какое количество разного типа товара продавать, т. к. задана лишь сумма всех видов товаров в матрице *a*. Это означает, что предприятие вольно определять состав a_j, как ему удобно. В табл. 3 представлено сравнение двух методов решений: с использованием комплексной авторской модели и модели последовательной.



а б

Рис. 2. Визуализация вектора ответа X: а – комплексная модель;
б – последовательная модель

Таблица 3

Сравнение результатов работ моделей комплексной и последовательной

Параметр сравнения	Метод решения	Комплексный	Последовательный
Объем производства, ед.		(0, 6, 7, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 10, 10, 0, 0, 0)	(7, 0, 7, 0, 0, 0, 6, 0, 0, 0, 4, 0, 0, 0, 8, 1)
Остаток запасов сырья, ед.		(269, 374, 574, 819)	(270, 382, 570, 805)
Издержки, у. е.		3409,3	3211,9
Выручка, у. е.		32259	29111
Экономический эффект, у. е.		2950,6	-2950,6

При анализе сравнения результатов заметим, что остаток сырья на складе больше при решении комплексным методом при равном суммарном объеме производства. Также заметим, что при последовательном методе решения суммарные издержки и выручка оказываются меньше, чем у второго способа. В итоге прибыль больше при решении комплексным методом. Добавим, что при решении комплексным способом точек, в которых предприятие открыло новые производства, меньше.

Для анализа транспортного блока решения задачи рассмотрим рис. 2, *а* и 2, *б*. Из этого следует, что способ доставки разный, и это влияет на суммарные издержки при транспортировке. Также видно, что графы решений очень похожи друг на друга (более 70 % дуг совпадает, в то время как всего 30 % весов дуг равны), этот факт обусловливает разность в издержках при транспортировке.

На рис. 2, *а* отчетливо видно, как из вершины 1 выходит следующая дуга: 3 → 17 → 24 → 28 → 29 → 33 → 35 → 37, с соответствующими весами: 7, 2, 4, 4, 3, 3, 18. То, что все дуги разные по весу обуславливает то, что в каждой пройденной вершине происходит некоторый процесс, после чего вес дуги меняется. Это может быть вызвано целым рядом возможных факторов: переупаковка контейнеров с последующим изменением его веса/объема/стоимости и прочее, слияние в один поток несколько других потоков и другие. Также тот факт, что в матрицах C, d, T присутствуют такие элементы, что выполняется (на примере матрицы C) $c_{ij} = c_{ji}$, также говорит о том, что данный алгоритм и его программная реализация могут решать не только задачи на обычных графах, но и на псевдо-графах. Не требуется модификация алгоритма и программной реализации для решения этой задаче в случае мульти-графа – достаточно на главной диагонали указать соответствующий вес петли. Отсюда вытекает еще один факт: существует возможность решения несколько усложненной задачи: пусть существует некоторая вершина под номером p такая, что выполняется $x_{pp} \geq 0,\ p \in P$, где P есть множество вершин графа, тогда экономическим смыслом такой задачи будет такое понятие, как склад, т. е. мы оставляем некоторое количество груза в пункте P пока не настанет определенное время, чтобы его вывезти. Таким образом, можно считать такой пункт p на следующем возможном шаге решения за элемент b_{j+1}, другими словами, еще одним пунктом вывоза продукции.

Также можно допустить еще одну модификацию модели. Можно уточнить количество каждого вида товара необходимого для реализации в конечном пункте. Тогда придется добавить ограничение $x_{ij} \in (0;1)$, т. к.

будем считать, что количество, вывозимое с пунктов производств, есть единый и неделимый объект (комплект). Чтобы данная модель работала корректно, необходимо также добавить условие, которое бы учитывало, если $k \geq 1$, то количество вывозимого товара из пункта равно 1. Также придется положить все $a_j = 1$, если в пункте j имеется заказ. Решение может быть пустым, если запасов на складе мало, тогда предлагается отдельно рассмотреть задачу о производстве. Однако эта модификация повлечет за собой потерю возможности определения объема перевозок.

Заключение

В данной статье была рассмотрена одна из возможных постановок задачи, которая объединяет ранее известные пять классических задач линейного программирования. Было показано, что такую задачу возможно сформулировать в рамках комплексной задачи линейного программирования. Тест модели произведен на 38 вершинах с 16 пунктами входа, 3 пунктами выхода. Показано, что такую задачу возможно решать и визуализировать средствами пакета Matlab. Рассмотрены модификации модели и возможные алгоритмы решения в зависимости от объема выборки данных. Разработанная модель может быть применена на предприятии любой производственной направленности, где стоит главной задачей поиск оптимального комбинаторного варианта вектора товаров при условии, во-первых, минимизации производственных издержек и затрат на транспортировку готовой продукции, во-вторых, получения максимальной прибыли, в-третьих, минимальных издержек при открытии новых пунктов производства.

Список использованных источников

1. Семериков А.В. Решение транспортных задач : учебное пособие. Ухта: УГТУ, 2013. 58 с.
2. Ford L.R. Fulkerson D.R. Maximal Flow through a Network // Canadian Journal of Mathematics. 1956. Vol. 8. P. 399–404.
3. Акоф Р., Сасиени М. Основы исследования операций. М. : Мир, 1971. 534 с.
4. Jahromi A.F., Mimand Z.E. A new outlier detection method for high dimensional fuzzy databases based on LOF // Journal of Mathematical Modeling. 2018. Vol. 6, Issue 2. P. 123–136.
5. Sumathi P. A new approach to solve linear programming problem with intercept values // Journal of Information and Optimization Sciences. 2016. Vol. 37, Issue 4. P. 495–510.
6. Lim S.M., Sultan A.B., Sulaiman N., Mustapha A., Leong K.Y. Crossover and Mutation Operators of Genetic Algorithms // International Journal of Machine Learning and Computing. 2017. Vol. 7, No. 1. P. 9–12.
7. Протасов В.Ю. Максимумы и минимумы в геометрии. М. : МЦНМО. 56 с.
8. Писарук Н.Н. Исследование операций : учебное пособие. Минск : БГУ, 2015. 304 с.
9. Daganzo C.F., Smilowitz K.R. Bounds and approximations for the transportation problem of linear programming and other scalable network problems // Transportation Science. 2004. Vol. 38, Issue 3. P. 343–356.
10. Gharehbolagh H.H., Hafezalkotob A., Makui A., Raissi S. A cooperative game approach to uncertain decentralized logistic systems subject to network

reliability considerations // Kybernetes. 2017. Vol. 46, No. 8. P. 1452–1468.
11. Sayed M., Hendry L.C., Bell M.Z. Institutional complexity and sustainable supply chain management practices // Supply Chain Management: An International Journal. 2017. Vol. 22, Issue 6. P. 542–563.
12. Рогулин Р.С., Нечаев П.В., Плешанов Д.Е., Олейник Е.Б. Комплексное решение задачи оптимизации процессов производства и транспортировки продукции // Вопросы экономики и права. 2018. № 7 (121). С. 81–85.
13. Dameshghi A., Refan M.H. Wind turbine gearbox condition monitoring and fault diagnosis based on multi-sensor information fusion of SCADA and DSER-PSO-WRVM method // International Journal of Modelling and Simulation. 2019. Vol. 39, Issue 1. P. 48–72.
14. Chipengo U., Krenz P.M, Carpenter S. From Antenna Design to High Fidelity, Full Physics Automotive Radar Sensor Corner Case Simulation // Modelling and Simulation in Engineering. 2018. Article ID 4239725. 19 p.
15. Sonker B., Kumar D, Samuel P. Design of two degree of freedom-internal model control configuration for load frequency control using model approximation // International Journal of Modelling and Simulation. 2019. Vol. 39, Issue 1. P. 27–37.
16. Zhang Y., Lu S., Zhou X., Yang M., Wu L., Liu B., Phillips P., Wang S. Comparison of machine learning methods for stationary wavelet entropy-based multiple sclerosis detection: decision tree, k-nearest neighbors, and support vector machine // Simulation. 2016. Vol. 92, Issue 9. P. 861–871.
17. Zhao L., Yu Y., Zhou C., Mao S., Yang F. Simulation of vertical characteristics and in-wheel motor vibration of electric vehicles with asymmetric suspension damper under road impact // International Journal of Modelling and Simulation. 2019. Vol. 39, Issue 1. P. 14–20.
18. Olaru A., Olaru S., Mihai N.F. Modeling, Simulation and Assisted Research with LabVIEW Instrumentation in Robotic // International Journal of Modeling and Optimization. 2018. Vol. 8, No. 6. P. 301–305.
19. Hosseinpour M., Sharifi H., Sharifi Y. Stepwise regression modeling for compressive strength assessment of mortar containing metakaolin // International Journal of Modelling and Simulation. 2018. Vol. 38, Issue 4. P. 207–215.
20. Jomsri P. Implementing Virtual 3D Model and Augmented Reality Navigation for Library in University // International Journal of Modeling and Optimization. 2018. Vol. 8, No. 6. P. 315–317.
21. Chanda U., Kumar A., Kumar J.D. Fuzzy EOQ model of a high technology product under trial-repeat purchase demand criterion // International Journal of Modelling and Simulation. 2018. Vol. 38, Issue 3. P. 168–179.
22. Bindu S., Thomas V. Modified Direct-Quadrature Axis Model for Characterization of Air-gap Mixed Eccentricity Faults in Three-Phase Induction Motor // International Review on Modelling and Simulations. 2018. Vol. 11, No. 6. P. 359–365.
23. Attia H. Artificial Neural Networks. Based Maximum Power Point Tracking Photovoltaic System for Remote Park LED Lighting Applications // International Review on Modelling and Simulations. 2018. Vol. 11, No. 6. P. 396–405.

Rogulin R.S.
Far Eastern Federal University, Russia, Vladivostok, Russia
Maksimenko V.I.
Far Eastern Federal University, Russia, Vladivostok, Russia
Zlobina D.V.
Far Eastern Federal University, Russia, Vladivostok, Russia
Zhandarmov V.O.
Far Eastern Federal University, Russia, Vladivostok, Russia
Pugacheva E.S.
Far Eastern Federal University, Russia, Vladivostok, Russia
Matveev V.V.
Far Eastern Federal University, Russia, Vladivostok, Russia

THE TASK OF COMBINATORIAL OPTIMIZATION: THE SEARCH FOR AN OPTIMAL PRODUCTION AND TRANSPORT PLAN WHEN ORGANIZING PRODUCTION IN NEW TERRITORIES

Abstract: The purpose of this article is to solve one of the tasks of production activities. A company aims to expand individual production facilities and to subsequently determine output and transportation volumes from each of the outlets (local production sites, warehouses, etc.). The hypothesis is that a solution to the production problems can be found in a set of five linear programming problems: the production problem, the center placement problem, the flow problem, the time minimization problem, and the transportation problem. The paper presents the main algorithms for finding optimal solutions, formulates a complex task, builds a model and implements an algorithm for finding optimal solutions. It was shown that such a problem can be formulated in the framework of a complex linear programming problem. The model test is produced on 38 vertices with 16 entry points, 3 exit points. It is shown that such a task can be solved and visualized by means of the Matlab package. Modifications of the model and possible solution algorithms depending on the data sample size are considered. The developed model can be applied at an enterprise or at any production facility where the main task is to search for the optimal combinatorial version of goods, provided that ,first, production costs and the costs of transportation of finished products are minimized and, second, profit is at a maximum. Third, the cost of launching opening new production facilities are kept at a minimum. Such a task corresponds exactly to the economic situation, when the enterprise has yet to expand (open new production sites), and it tries to decide where to produce items from its list of products and determine its output considering the available raw materials and decide on dispatch methods. Such a problem is non-trivial combinatorial in nature.

Key words: mathematical modeling; linear programming; production; maximum flow; center placement; time minimization; transport problem.

References

1. Semerikov, A.V. (2013). *Reshenie transportnykh zadach [Solving Transportation Problems]*. Ukhta, UGTU.
2. Ford, L.R., Fulkerson, D.R. (1956). Maximal Flow through a Network. *Canadian Journal of Mathematics.* Vol. 8, 399–404.
3. Ackoff, R.L., Sasieni, M. (1968). *Fundamentals of Operations Research*. Wiley.
4. Jahromi, A.F., Mimand, Z.E. (2018). A new outlier detection method for high dimensional fuzzy databases based on LOF. *Journal of Mathematical Modeling,* Vol. 6, Issue 2, 123–136.
5. Sumathi, P. (2016). A new approach to solve linear programming problem with intercept values. *Journal of Information and Optimization Sciences,* Vol. 37, Issue 4, 495–510.
6. Lim, S.M., Sultan, A.B., Sulaiman, N., Mustapha, A., Leong, K.Y. (2017). Crossover and Mutation Operators of Genetic Algorithms. *International Journal of Machine Learning and Computing,* Vol. 7, No. 1, 9–12.
7. Protasov, V.Iu. (2005). *Maksimumy i minimumy v geometrii [Maximum and Minimum Values in Geometry].* Moscow, MTsNMO.
8. Pisaruk, N.N. (2015). *Issledovanie operatsii [Operations Research]*. Minsk, BGU.
9. Daganzo, C.F., Smilowitz, K.R. (2004). Bounds and approximations for the transportation problem of linear programming and other scalable network problems. *Transportation Science,* Vol. 38, Issue 3, 343–356.
10. Gharehbolagh, H.H., Hafezalkotob, A., Makui, A., Raissi, S. (2017). A cooperative game approach to uncertain decentralized logistic systems subject to network reliability considerations. *Kybernetes,* Vol. 46, No. 8, 1452–1468.
11. Sayed, M., Hendry, L.C., Bell, M.Z. (2017). Institutional complexity and sustainable supply chain management practices. *Supply Chain Management: An International Journal,* Vol. 22, Issue 6, 542–563.
12. Rogulin, R.S., Nechaev, P.V., Pleshanov, D.E., Oleinik, E.B. (2018). Kompleksnoe reshenie zadachi optimizatsii protsessov proizvodstva i transportirovki produktsii (A comprehensive solution of tasks of optimization of processes of production and product transportation). *Voprosy ekonomiki i prava (Economic and Law Issues),* No. 7 (121), 81–85.
13. Dameshghi, A., Refan, M.H. (2019). Wind turbine gearbox condition monitoring and fault diagnosis based on multi-sensor information fusion of SCADA and DSER-PSO-WRVM method. *International Journal of Modelling and Simulation,* Vol. 39, Issue 1, 48–72.
14. Chipengo, U., Krenz, P.M, Carpenter, S. (2018). From Antenna Design to High Fidelity, Full Physics Automotive Radar Sensor Corner Case Simulation. *Modelling and Simulation in Engineering,* Article ID 4239725, 19 p.
15. Sonker, B., Kumar, D, Samuel, P. (2019). Design of two degree of freedom-internal model control configuration for load frequency control using model approximation. *International Journal of Modelling and Simulation,* Vol. 39, Issue 1, 27–37.
16. Zhang, Y., Lu, S., Zhou, X., Yang, M., Wu, L., Liu, B., Phillips, P., Wang, S. (2016). Comparison of machine learning methods for stationary wavelet

entropy-based multiple sclerosis detection: decision tree, k-nearest neighbors, and support vector machine. *Simulation,* Vol. 92, Issue 9, 861–871.

17. Zhao, L., Yu, Y., Zhou, C., Mao, S., Yang, F. (2019). Simulation of vertical characteristics and in-wheel motor vibration of electric vehicles with asymmetric suspension damper under road impact. *International Journal of Modelling and Simulation,* Vol. 39, Issue 1, 14–20.
18. Olaru, A., Olaru, S., Mihai, N.F. (2018). Modeling, Simulation and Assisted Research with LabVIEW Instrumentation in Robotic. *International Journal of Modeling and Optimization,* Vol. 8, No. 6, 301–305.
19. Hosseinpour, M., Sharifi, H., Sharifi, Y. (2018). Stepwise regression modeling for compressive strength assessment of mortar containing metakaolin. *International Journal of Modelling and Simulation,* Vol. 38, Issue 4, 207–215.
20. Jomsri, P. (2018). Implementing Virtual 3D Model and Augmented Reality Navigation for Library in University. *International Journal of Modeling and Optimization,* Vol. 8, No. 6, 315–317.
21. Chanda, U., Kumar, A., Kumar, J.D. (2018). Fuzzy EOQ model of a high technology product under trial-repeat purchase demand criterion. *International Journal of Modelling and Simulation,* Vol. 38, Issue 3, 168–179.
22. Bindu, S., Thomas, V. (2018). Modified Direct-Quadrature Axis Model for Characterization of Air-gap Mixed Eccentricity Faults in Three-Phase Induction Motor. *International Review on Modelling and Simulations,* Vol. 11, No. 6, 359–365.
23. Attia, H. (2018). Artificial Neural Networks. Based Maximum Power Point Tracking Photovoltaic System for Remote Park LED Lighting Applications. *International Review on Modelling and Simulations,* Vol. 11,

No. 6, 396–405.

Information about the authors

Rogulin Rodion Sergeevich – Assistant, Department of Business Informatics and Economics-Mathematical Methods, School of Economics and Management, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia (690090, Vladivostok, Sukhanova street, 8); e-mail: rafassiaofusa@mail.ru.

Maksimenko Valery Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, School of Engineering, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia (690090, Vladivostok, Sukhanova street, 8); e-mail: maximenko.vi@dvfu.ru.

Zlobina Daria Vyacheslavovna – Technician, Department of Food Science and Technology, School of Biomedicine, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia (690090, Vladivostok, Sukhanova street, 8); e-mail: zlobina.dv@dvfu.ru.

Zhandarmov Vladimir Olegovich – Master Student of the Direction “Cybersecurity”, School of Digital Economics, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia (690090, Vladivostok, Sukhanova street, 8); e-mail: zhandarmov.vo@students.dvfu.ru.

Pugacheva Eva Sergeevna – Technician, School of Biomedicine, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia (690090, Vladivostok, Sukhanova street, 8); e-mail: pugacheva.es@dvfu.ru.

Matveev Vladislav Victorovich – Laboratory Engineer, School of Biomedicine, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia (690090, Vladivostok, Sukhanova street, 8); e-mail: matveev.vv@dvfu.ru.

Для цитирования: Рогулин Р.С., Максименко В.И., Злобина Д.В., Жандармов В.О., Пугачева Е.С., Матвеев В.В. Задача комбинаторной оптимизации: поиск оптимального производственного и транспортного плана при организации производства на новых территориях // Вестник УрФУ. Серия экономика и управление. 2019. Т. 18, № 3. С. 364–377. DOI: 10.15826/vestnik.2019.18.3.018.

For Citation: Rogulin R.S., Maksimenko V.I., Zlobina D.V., Zhandarmov V.O., Pugacheva E.S., Matveev V.V. The Task of Combinatorial Optimization: The Search for an Optimal Production and Transport Plan When Organizing Production in New Territories. *Bulletin of Ural Federal University. Series Economics and Management,* 2019, Vol. 18, No. 3, 364–377. DOI: 10.15826/vestnik.2019.18.3.018.

Информация о статье: дата поступления 11 июня 2019 г.; дата принятия к печати 26 июня 2019 г.

Article Info: Received June 11, 2019; Accepted June 26, 2019.